

## LICHTQUELLE MIT MEHREREN MIKROSTRUKTURIERTEN OPTISCHEN ELEMENTEN

Die Erfindung betrifft eine Lichtquelle mit einem mikrostrukturierten optischen Element, das das Licht einer Primärlichtquelle empfängt und spektral  
5 verbreitert.

Die Patentschrift US 6,097,870 offenbart eine Anordnung zur Generierung eines Breitbandspektrums im sichtbaren und infraroten Spektralbereich. Die Anordnung basiert auf einer mikrostrukturierten Faser, in die das Licht eines Pumpasers eingekoppelt wird. Das Pumplicht wird in der mikrostrukturierten  
10 Faser durch nichtlineare Effekte verbreitert. Als mikrostrukturierte Faser findet auch sog. Photonic-Band-Gap-Material oder "photon crystal fibres", „holey fibers“ oder „microstructured fibers“ Verwendung. Es sind auch Ausgestaltungen als sog. „Hollow fiber“ bekannt.

Eine weitere Anordnung zur Generierung eines Breitbandspektrums ist in der  
15 Veröffentlichung von Birks et al.: „Supercontinuum generation in tapered fibers“, Opt.Lett. Vol. 25, p.1415 (2000), offenbart. In der Anordnung wird eine herkömmliche Lichtleitfaser mit einem Faserkern, die zumindest entlang eines Teilstücks eine Verjüngung aufweist verwendet. Lichtleitfasern dieser Art sind als sog. „tapered fibers“ bekannt.

20 Insbesondere in der Mikroskopie, der Endoskopie, der Flußzytometrie, der

- Chromatographie und in der Lithographie sind zur Beleuchtung der Objekte universelle Beleuchtungseinrichtungen mit hoher Leuchtdichte wichtig. In der Scanmikroskopie wird eine Probe mit einem Lichtstrahl abgerastert. Hierzu werden oft Laser als Lichtquelle eingesetzt. Aus der EP 0 495 930:
- 5 „Konfokales Mikroskopsystem für Mehrfarbenfluoreszenz“ ist beispielsweise ein Anordnung mit einem einzelnen mehrere Laserlinien emittierenden Laser bekannt. Derzeit werden hierfür meist Mischgaslaser, insbesondere ArKr-Laser, eingesetzt. Als Probe werden beispielsweise mit Fluoreszenzfarbstoffen präparierte, biologische Gewebe oder Schnitte
- 10 untersucht. Im Bereich der Materialuntersuchung wird oft das von der Probe reflektierte Beleuchtungslicht detektiert. Auch Festkörperlaser und Farbstofflaser, sowie Faserlaser und Optisch-Parametrische-Oszillatoren (OPO), denen ein Pumplaser vorgeordnet ist, werden häufig verwendet.
- Aus der Offenlegungsschrift DE 101 15 488 A1 ist eine Vorrichtung zur
- 15 Beleuchtung eines Objekts, die ein mikrostrukturiertes optisches Element beinhaltet, das das Licht eines Lasers spektral verbreitert, bekannt. Die Vorrichtung umfasst eine Optik, die das spektral verbreiterte Licht zu einem Beleuchtungslichtstrahl formt. Außerdem ist in der Offenlegungsschrift die Verwendung der Vorrichtung zur Beleuchtung in einem Mikroskop,
- 20 insbesondere in einem Scanmikroskop, offenbart.
- Aus der Patentanmeldung DE 101 15 509 A1 ist eine Anordnung zum Untersuchen mikroskopischer Präparate mit einem Scanmikroskop und einer Beleuchtungseinrichtung für ein Scanmikroskop bekannt. Die Anordnung besteht aus einem Laser und einem optischen Mittel, dass das von dem Laser
- 25 erzeugte Licht auf eine zu untersuchende Probe abbildet. Zwischen dem Laser und dem optischen Mittel ist ein optisches Bauelement vorgesehen, dass das vom Laser erzeugte Licht bei einmaligem Durchlauf spektral verbreitert, wobei das optische Bauelement aus Photonic-Band-Gap-Material besteht und vorzugsweise als Lichtleitfaser ausgebildet ist.
- 30 In dem Artikel von Ranka et al., Optics Letters, Vol. 25, No. 1, ist die Erzeugung von Licht eines Breitbandwellenlängenspektrums von 500 bis 1600 nm mit Hilfe einer Luft-Quarzglas-Faser gezeigt.

- Die Eigenschaften des mit Hilfe von mikrostrukturierten optischen Elementen, wie beispielsweise photonischen Kristallfasern, erzeugten Lichts, hängen neben der Wellenlänge der Primärlichtquelle auch von den Parametern des mikrostrukturierten optischen Elements, wie beispielsweise der Null-  
5 Dispersions-Wellenlänge oder der Art und der Dimensionen der Loch- bzw. der Mikrostruktur, ab. In der Regel weisen zwei unterschiedliche photonische Kristallfasern bei gleicher Wellenlänge des Primärlichtes ein unterschiedliches Emissionsspektrum auf. Dies ist insbesondere mit Hinblick auf die Reproduzierbarkeit von Experimenten von besonderem Nachteil.
- 10 Die Leistung des spektral verbreiteten Lichts verteilt sich in der Regel weitgehend gleichmäßig über den gesamten breiten Spektralbereich, so dass für Anwendungen, bei denen nur Licht einzelner Wellenlängen oder Licht einzelner kleiner Wellenlängenbereiche benötigt wird, nur eine relativ geringe Lichtleistung (typischerweise stehen 1-5 mW/nm) zur Verfügung steht.
- 15 Die Offenlegungsschrift DE 100 56 382 A1 offenbart eine Lichtquelle zur Beleuchtung in der Scanmikroskopie und ein Scanmikroskop. Die Lichtquelle beinhaltet eine elektromagnetische Energiequelle, die Licht einer Wellenlänge emittiert und ein Mittel zum räumlichen Aufteilen des Lichts in mindestens zwei Teillichtstrahlen. In mindestens einem Teillichtstrahl ist ein  
20 Zwischenelement zur Wellenlängenänderung vorgesehen. Die Lichtquelle ist in der STED-Mikroskopie einsetzbar.

- In der Rastermikroskopie wird eine Probe mit einem Lichtstrahl beleuchtet, um das von der Probe emittierte Reflexions- oder Fluoreszenzlicht zu beobachten. Der Fokus eines Beleuchtungslichtstrahles wird mit Hilfe einer steuerbaren  
25 Strahlablenkeinrichtung, im Allgemeinen durch Verkippen zweier Spiegel, in einer Objektebene bewegt, wobei die Ablenkachsen meist senkrecht aufeinander stehen, so dass ein Spiegel in x-, der andere in y-Richtung ablenkt. Die Verkipfung der Spiegel wird beispielsweise mit Hilfe von Galvanometer-Stellelementen bewerkstelligt. Die Leistung des vom Objekt  
30 über einen Detektionsstrahlengang kommenden Lichtes wird mit einem Detektor in Abhängigkeit von der Position des Abtaststrahles gemessen. Üblicherweise werden die Stellelemente mit Sensoren zur Ermittlung der

aktuellen Spiegelstellung ausgerüstet.

Speziell in der konfokalen Rastermikroskopie wird ein Objekt mit dem Fokus eines Lichtstrahles in drei Dimensionen abgetastet.

Ein konfokales Rastermikroskop umfasst im Allgemeinen eine Lichtquelle,  
5 eine Abbildungsoptik, mit der das Licht der Quelle auf eine Lochblende – die  
sog. Anregungsblende - fokussiert wird, einen Strahlteiler, eine  
Strahlableitvorrichtung zur Strahlsteuerung, eine Mikroskopoptik, eine  
Detektionsblende und die Detektoren zum Nachweis des Detektions- bzw.  
Fluoreszenzlichtes. Das Beleuchtungslicht wird oft über den Strahlteiler, der  
10 beispielsweise als Neutralstrahlteiler oder als dichroitischer Strahlteiler  
ausgeführt sein kann, eingekoppelt. Neutralstrahlteiler haben den Nachteil,  
dass je nach Teilungsverhältnis viel Anregungs- oder viel Detektionslicht  
verloren geht.

Das vom Objekt kommende Detektionslicht (z.B. Fluoreszenz- oder  
15 Reflexionslicht) gelangt über die Strahlableitvorrichtung zurück zum  
Strahlteiler, passiert diesen, um anschließend auf die Detektionsblende  
fokussiert zu werden, hinter der sich die Detektoren befinden. Detektionslicht,  
das nicht direkt aus der Fokusregion stammt, nimmt einen anderen Lichtweg  
und passiert die Detektionsblende nicht, so dass man eine Punktinformation  
20 erhält, die durch sequentielles Abtasten des Objekts zu einem  
dreidimensionalen Bild führt. Meist wird ein dreidimensionales Bild durch  
schichtweise Bilddatenaufnahme erzielt, wobei die Bahn des  
Abtastlichtstrahles auf bzw. in dem Objekt idealerweise einen Mäander  
beschreibt. (Abtasten einer Zeile in x-Richtung bei konstanter y-Position,  
25 anschließend x-Abtastung anhalten und per y-Verstellung auf die nächste  
abzutastende Zeile schwenken und dann, bei konstanter y-Position, diese  
Zeile in negative x-Richtung abtasten u.s.w.). Um eine schichtweise  
Bilddatenaufnahme zu ermöglichen, wird der Probentisch oder das Objektiv  
nach dem Abtasten einer Schicht verschoben und so die nächste  
30 abzutastende Schicht in die Fokusebene des Objektivs gebracht.

Bei vielen Anwendungen werden Proben mit mehreren Markern,

beispielsweise mehreren unterschiedlichen Fluoreszenzfarbstoffen präpariert. Diese Farbstoffe können sequentiell, beispielsweise mit Beleuchtungslichtstrahlen, die unterschiedliche Anregungswellenlängen aufweisen, angeregt werden.

- 5 Eine Auflösungssteigerung in Richtung der optischen Achse lässt sich, wie in der Europäischen Patentschrift EP 0 491 289 mit dem Titel: „Doppelkonfokales Rastermikroskop“ beschrieben ist, durch eine Doppelobjektivanordnung (4Pi-Anordnung) erreichen. Das vom Beleuchtungssystem kommende Licht wird in zwei Teilstrahlen aufgespalten,  
10 die die Probe einander entgegenlaufend durch zwei spiegelsymmetrisch angeordnete Objektive gleichzeitig beleuchten. Die beiden Objektive sind auf verschiedenen Seiten der ihnen gemeinsamen Objektebene angeordnet. Im Objektpunkt bildet sich durch diese interferometrische Beleuchtung ein Interferenzmuster aus, dass bei konstruktiver Interferenz ein Hauptmaximum  
15 und mehrere Nebenmaxima aufweist. Mit einem doppelkonfokalen Rastermikroskop kann im Vergleich zum konventionellen Rastermikroskop durch die interferometrische Beleuchtung eine erhöhte axiale Auflösung erzielt werden.

- Eine Anordnung zur Steigerung des Auflösungsvermögens für  
20 Fluoreszenzanwendungen ist aus der DE 44 16 558 bekannt. Hierbei werden die lateralen Randbereiche des Fokusvolumens des Anregungslichtstrahls mit einem Lichtstrahl einer anderen Wellenlänge, dem sog. Stimulationslichtstrahl, der von einem zweiten Laser emittiert wird, beleuchtet, um dort die vom Licht des ersten Lasers angeregten Probenbereiche stimuliert in den Grundzustand  
25 zurück zu bringen. Detektiert wird dann nur das spontan emittierte Licht aus den nicht vom zweiten Laser beleuchteten Bereichen, so dass insgesamt eine Auflösungsverbesserung erreicht wird. Für dieses Verfahren hat sich die Bezeichnung STED (Stimulated Emission Depletion) eingebürgert.

- Eine neue Entwicklung hat gezeigt, dass man gleichzeitig sowohl lateral, als  
30 auch axial eine Auflösungsverbesserung erzielen kann, wenn es gelingt, den Fokus des Stimulationslichtstrahles innen hohl zu machen. Hierzu wird in den Strahlengang des Stimulationslichtstrahles eine runde

Phasenverzögerungsplatte eingebracht, welche die Lichtwellen in Teilbereichen um eine Phase verzögert, die einer optischen Weglänge von  $\lambda/2$  entspricht. Die Phasenverzögerungsplatte ist in ihrem Durchmesser kleiner als der Strahldurchmesser und wird folglich überleuchtet. Um einen innen hohlen  
5 Stimmulationsstrahl zu erreichen, muss die Lichtmenge, die eine Phasenverzögerung von  $\lambda/2$  erfährt, gleich der nicht verzögerten Lichtmenge sein.

STED-Mikroskopie wird zur Zeit in drei verschiedenen Konfigurationen durchgeführt:

10 Mittels eines Titan-Saphir-Lasers (TiSa) zum stimulierten Abregen des Fluoreszenzfarbstoffs und eines durch den TiSa gepumpten optischen parametrischen Oszillators (OPO) zum Anregen des Fluoreszenzfarbstoffs. (Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., Vol. 97, p. 8206-8210, 2000)

15 Mittels zweier synchronisierter Laserdioden, von denen eine Laserdiode eine Wellenlänge im Wellenlängenbereich des Absorptionsspektrums des Farbstoffs und die andere Laserdiode eine Wellenlänge im Bereich des Emissionsspektrums des Farbstoffs besitzt. (Appl. Phys. Lett., Vol. 82, No. 18, p. 3125-3127, 2003)

20 Mittels eines gepulsten Festkörperlaser, dessen Licht einerseits zur stimulierten Abregung des Fluoreszenzfarbstoffs verwendet wird. Andererseits wird das Licht frequenzverdoppelt und zur Anregung des Farbstoffs verwendet. (Hell, S. W. (1997). „Increasing the Resolution of Far-Field Fluorescence Microscopy by Point-Spread-Function Engineering.“ Topics In Fluorescence Spectroscopy 5: Nonlinear and Two-Photon-Induced  
25 Fluorescence. J. Lakowicz. New York, Plenum Press. 5.)

In der STED-Mikroskopie werden beispielsweise Titan-Saphir-Laser in Verbindung mit optisch parametrischen Oszillatoren (OPO) als Lichtquelle verwendet. Lichtquellen dieser Art haben den Nachteil, dass sie nur Licht eines sehr begrenzten Wellenlängenspektrums zur Verfügung stellen können  
30 und dass sie darüber hinaus schwierig bedienbar sind. Nachteilhaft ist bei diesen Lichtquellen nicht zuletzt der sehr hohe Anschaffungspreis. Derzeit

werden auch aufeinander synchronisierte Halbleiterlaser als Lichtquellen in der STED-Mikroskopie verwendet, wobei nachteiligerweise die Lichtleistung der zum stimulierten Abregen verwendeten Laserdiode oft nicht ausreicht. Außerdem ist man zwingend auf die beiden Wellenlängen der eingesetzten  
5 Laserdioden festgelegt. Als Alternative werden derzeit in der STED-Mikroskopie auch Festkörperlaser mit nachfolgender Frequenzverdopplung verwendet. Hierbei ist man für das Licht zur Anregung der Probe und für das Licht, das eine stimulierte Emission bewirkt, auf zwei voneinander abhängige Wellenlängen zwingend festgelegt, was die Einsetzbarkeit dieses  
10 Lichtquellentyps auf wenige Anwendungsmöglichkeiten einschränkt.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Lichtquelle mit einem mikrostrukturiertem optischen Element anzugeben, deren Emissionsspektrum auf die jeweilige Anwendung angepasst ist und die insbesondere in der Rastermikroskopie und speziell in der STED-Mikroskopie verwendbar ist.  
15 Die Aufgabe wird durch eine Lichtquelle gelöst, die dadurch gekennzeichnet ist, dass das spektral verbreiterte Licht zumindest ein weiteres mikrostrukturiertes optisches Element durchläuft.

Durch die Hintereinander-Anordnung von zwei oder mehr mikrostrukturierten optischen Elementen können die spektralen Eigenschaften des von der  
20 Lichtquelle emittierten Lichts beeinflusst und an die Anforderungen der beabsichtigten Anwendung angepasst werden. Insbesondere kann durch geeignete Auswahl der Parameter des mikrostrukturierten optischen Elements und des weiteren mikrostrukturierten optischen Elements die Leistung des von der Lichtquelle emittierten Lichts in den spektralen Unterbereichen, die für  
25 eine Anwendung von besonderer Bedeutung sind, erhöht werden. Beispielsweise kann bei Verwendung der Lichtquelle in der STED-Mikroskopie eine Maximierung der Lichtleistung im Bereich des Absorptionsspektrums der verwendeten Probenfarbstoffe und im Bereich des Emissionsspektrums der verwendeten Probenfarbstoffe erzielt werden. Die erfindungsgemäße  
30 Lichtquelle eignet sich daher hervorragend für Anwendungen in der hochauflösenden Mikroskopie, wie beispielsweise der erwähnten STED-Mikroskopie oder in der STED-4Pi-Rastermikroskopie (doppelkonfokales

Rastermikroskop), sowie in der CARS-Mikroskopie.

Vorteilhafterweise kann mit der erfindungsgemäßen Lichtquelle Emissionslicht erzeugt werden, dessen spektrale Breite über die spektrale Breite, die jedes einzelne mikrostrukturierte optische Element erzeugen würde, hinausgeht.

- 5 Eine solche Lichtquelle ist insbesondere für Mehrwellenlängen-STED-Anwendungen interessant, da hier ein sehr breites Superkontinuum benötigt wird.

- 10 In einer ganz besonders bevorzugten Ausgestaltungsvariante der Lichtquelle sind das mikrostrukturierte optische Element und das weitere mikrostrukturierte optische Element miteinander verspleißt. Das Verspleißen von Lichtleitfasern ist eine dem Fachmann hinlänglich bekannte Technik. In der Offenlegungsschrift US 2003/0081915 wird zudem beschrieben, wie eine konventionelle Faser mit einer mikrostrukturierten Faser so miteinander verspleißt werden, dass die Transmissionsverluste minimiert sind.

- 15 In einer anderen bevorzugten Ausgestaltungsvariante der Lichtquelle wird das Licht, welches aus dem mikrostrukturierten optischen Element austritt, durch eine Linsenanordnung in das weitere mikrostrukturierte optische Element eingekoppelt.

- 20 Auch "Pump-Probe"-Experimente sind mit Hilfe der erfindungsgemäßen Lichtquelle effizient durchführbar.

Die Primärlichtquelle ist vorzugsweise eine Pulslichtquelle und umfasst in einer bevorzugten Variante einen Puls laser, der beispielsweise als gepulster Titan-Saphir-Laser ausgeführt sein kann.

- 25 In einer besonders bevorzugten Ausgestaltungsform ist ein Mittel zum Selektieren von Lichtanteilen zumindest einer Wellenlänge und/oder zumindest eines Wellenlängenbereichs vorgesehen. Bei diesen Mitteln kann es sich beispielsweise um Farbfilter oder dichroitische Filter handeln. Vorzugsweise beinhaltet das Mittel zum Selektieren ein akusto-optisches oder elektro-optisches Bauteil. In einer bevorzugten Variante ist das Mittel zum Selektieren als AOTF (Acousto Optical Tunable Filter) oder als AOBS (Acousto Optical Beam Splitter) ausgeführt.
- 30



Wie bereits erwähnt, ist die Lichtquelle auch innerhalb eines Verfahrens zur Erzeugung von Beleuchtungslicht für die STED-Mikroskopie oder für "Pump-Probe"-Experimente hervorragend geeignet. Aus dem von der Lichtquelle emittierten spektral verbreiteten Licht wird hierbei mit Hilfe des Mittels zum

5 Selektieren ein Lichtanteil, der eine Wellenlänge innerhalb des Anregungsspektrums des jeweils verwendeten Fluoreszenzfarbstoffs aufweist, abgespalten und ein weiterer Lichtanteil, der eine Wellenlänge innerhalb des Emissionsspektrums des verwendeten Fluoreszenzfarbstoffs aufweist, abgespalten und zu einem Beleuchtungslichtstrahl geformt. Während der

10 Lichtanteil, der eine Wellenlänge innerhalb des Anregungsspektrums des Fluoreszenzfarbstoffs aufweist, zur Anregung der Probe im beleuchteten Bereich dient, dient der Lichtanteil, der eine Wellenlänge innerhalb des Emissionsspektrums aufweist, zur Auslösung von stimulierter Emission in einem mit dem Anregungsprobenbereich teilweise überlappenden

15 Probenbereich. Wenn die Primärlichtquelle eine Pulslichtquelle ist, so sind die Pulse in den beiden abgespaltenen Lichtanteilen zwangsläufig zueinander synchronisiert, was eine für die STED-Mikroskopie sehr wichtige Eigenschaft ist.

Vorzugsweise durchläuft das Licht der Primärlichtquelle das mikrostrukturierte optische Element und/oder das weitere mikrostrukturierte optische Element

20 nur ein mal. Es ist jedoch auch ein wiederholtes Durchlaufen möglich.

Vorzugsweise beinhaltet das mikrostrukturierte optische Element und/oder das weitere mikrostrukturierte optische Element Photonic-Band-Gap-Material. Vorzugsweise ist das mikrostrukturierte optische Element und/oder das

25 weitere mikrostrukturierte optische Element als Lichtleitfaser ausgestaltet (Photonic-Crystal-Faser (PCS); Holey fiber, usw).

In einer anderen Variante weist das als Lichtleitfaser ausgestaltete mikrostrukturierte optische Element eine Verjüngung (Tapered fiber) auf.

Das mikrostrukturierte optische Element und/oder das weitere

30 mikrostrukturierte optische Element ist in einer bevorzugten Ausgestaltung des Scanmikroskops aus einer Vielzahl von mikrooptischen Strukturelementen

aufgebaut, die zumindest zwei unterschiedliche optische Dichten aufweisen. Ganz besonders bevorzugt ist eine Ausgestaltung, bei der das optische Element einen ersten Bereich und einen zweiten Bereich beinhaltet, wobei der erste Bereich eine homogene Struktur aufweist und in dem zweiten Bereich  
5 eine mikroskopische Struktur aus mikrooptischen Strukturelementen gebildet ist. Von Vorteil ist es außerdem, wenn der zweite Bereich den ersten Bereich umschließt. Die mikrooptischen Strukturelemente sind vorzugsweise Kanülen, Stege, Waben, Röhren oder Hohlräume.

Das mikrostrukturierte optische Element und/oder das weitere  
10 mikrostrukturierte optische Element besteht in einer besonderen Variante aus nebeneinander angeordnetem Glas- oder Kunststoffmaterial und Hohlräumen. Besonders zu bevorzugen ist die Ausführungsvariante, bei der das mikrostrukturierte optische Element und/oder das weitere mikrostrukturierte optische Element aus Photonic-Band-Gap-Material besteht und als  
15 Lichtleitfaser ausgestaltet ist. Vorzugsweise ist zwischen dem Laser und der Lichtleitfaser eine optische Diode vorgesehen, die Rückreflexionen des Lichtstrahles, die von, den Enden der Lichtleitfaser herrühren, unterdrückt.

Eine ganz besonders bevorzugte und einfach zu realisierende Ausführungsvariante beinhaltet als mikrostrukturiertes optisches Element  
20 und/oder als weiteres mikrostrukturiertes optisches Element eine herkömmliche Lichtleitfaser mit einem Faserkerndurchmesser von ca. 9  $\mu\text{m}$ , die zumindest entlang eines Teilstücks eine Verjüngung aufweist. Lichtleitfasern dieser Art sind als sog. „tapered fibers“ bekannt. Vorzugsweise ist die Lichtleitfaser insgesamt 1 m lang und weist eine Verjüngung auf einer  
25 Länge von 30 mm bis 90 mm auf. Der Durchmesser der gesamten Faser beträgt in einer bevorzugten Ausgestaltung im Bereich der Verjüngung ca. 2  $\mu\text{m}$ .

Eine weitere bevorzugte Ausführungsvariante beinhaltet ein mikrostrukturiertes optisches Element und ein weiteres mikrostrukturiertes  
30 optisches Element, bei denen die Strukturelemente kontinuierlich ineinander übergehen. In einer ganz besonders bevorzugten Variante sind ein mikrostrukturiertes optisches Element und ein weiteres mikrostrukturiertes

optisches Element als Lichtleitfasern mit kontinuierlichem Übergang ausgebildet.

Die erfindungsgemäße Lichtquelle ist beispielsweise auch in einem Flußzytometer oder einem Endoskop oder einem Chromatographen oder  
5 einer Lithographievorrichtung verwendbar.

In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand schematisch dargestellt und wird anhand der Figuren nachfolgend beschrieben. Dabei zeigen:

- Fig. 1                    eine erfindungsgemäße Lichtquelle,  
Fig. 2                    eine weitere erfindungsgemäße Lichtquelle und  
10 Fig. 3                    ein erfindungsgemäßes konfokales Rastermikroskop.

Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Lichtquelle 1 mit einer Primärlichtquelle 3, die als gepulster Titan-Saphir-Laser 5 ausgestaltet ist. Das Licht 7 der Primärlichtquelle wird mit Hilfe der Einkoppeloptik 9 in ein mikrostrukturiertes optisches Element 11, das als Photonic-Crystal-Faser 13 ausgebildet ist,  
15 eingekoppelt. Unmittelbar an die Photonic-Crystal-Faser 13 ist ein weiteres mikrostrukturiertes optisches Element 15, das als weitere Photonic-Crystal-Faser 17 ausgebildet ist, angespleißt. Analog folgen ein drittes und ein viertes mikrostrukturiertes optisches Element 19, 21, die als dritte und vierte Photonic-Crystal-Faser 23, 25 angespleißt sind. Das aus der vierten Photonic-  
20 Crystal-Faser 25 austretende spektral verbreiterte Licht wird mit Hilfe der Optik 27 zu einem Beleuchtungslichtstrahl 29 geformt. Der Beleuchtungslichtstrahl 29 durchläuft anschließend ein Mittel 31 zum Selektieren von Lichtanteilen zumindest einer Wellenlänge und/oder zumindest eines Wellenlängenbereichs, das als AOTF 33 ausgebildet ist. Der aus dem AOTF  
25 33 austretende Beleuchtungslichtstrahl 29 beinhaltet nur noch Lichtanteile der ausgewählten Wellenlänge bzw. der ausgewählten Wellenlängenbereiche, während die übrigen Lichtanteile von dem AOTF in eine nicht gezeigte Strahlfalle gelenkt werden. Zum Schutz vor äußeren Beeinflussungen, insbesondere zum Schutz vor Verschmutzung, weist die Lichtquelle ein  
30 Gehäuse 35 auf.

Eine weitere erfindungsgemäße Lichtquelle ist in Fig. 2 dargestellt. Das Licht 7 der Primärlichtquelle 3 wird zunächst mit Hilfe der Einkoppeloptik 9 in eine konventionelle Lichtleitfaser 12 eingekoppelt. Die konventionelle Lichtleitfaser 12 ist mit einem mikrostrukturiertem optischen Element 11, das als Photonic-Crystal-Faser 13 ausgeführt ist, verspleißt. In der Photonic-Crystal-Faser 13 wird das Licht 7 spektral verbreitert und aus der Faser ausgekoppelt. Das spektral verbreiterte Licht 16 wird anschließend mit Hilfe einer Linsenordnung 14 in ein weiteres mikrostrukturiertes optisches Element 15, das als weitere Photonic-Crystal-Faser 17 ausgestattet ist, eingekoppelt. Die Kopplung zweier Lichtleitfasern mit einer Linsenordnung ist in der Faseroptik ein Standard und kann konfektioniert werden. Im Anschluss an die weitere Photonic-Crystal-Faser 17 befindet sich ein drittes mikrostrukturiertes Element 19, bestehend aus einer dritten Photonic-Crystal-Faser 23. Im Übergangsbereich 20, der mit einem graduellen Grauübergang dargestellt ist, gehen die Strukturelemente kontinuierlich ineinander über. Der Lichtstrahl weist nach Durchlaufen aller optischen Elemente ein Spektrum auf, in dem in bestimmte Spektralbereiche besonders viel Licht konvertiert worden ist, im Vergleich zu allen anderen Spektralbereichen. Dieser spektral geformte Lichtstrahl 28 durchläuft anschließend ein Mittel 31 zum Selektieren von Lichtanteilen zumindest einer Wellenlänge und/oder zumindest eines Wellenlängenbereichs, das als AOTF 33 ausgebildet ist. Anschließend wird der spektral geformte Lichtstrahl 28 mit einem Strahlteiler 36 in einen Anregungslichtstrahl 30 und einen Stimulationslichtstrahl 32 aufgeteilt. Der Stimulationslichtstrahl 32 durchläuft eine Phasenverzögerungsplatte 34, wie sie in der STED-Mikroskopie Verwendung findet. Dem Fachmann ist diese Vorgehensweise hinlänglich bekannt. Über einen Strahlvereiniger 38 werden beide Lichtstrahlen wieder miteinander vereint. Dieser Lichtstrahl kann anschließend als Beleuchtungslichtstrahl 29 in ein erfindungsgemäßes Rastermikroskop, wie in Fig. 3 beschrieben ist, eingekoppelt und zur STED-Mikroskopie verwendet werden.

Fig. 3 zeigt ein erfindungsgemäßes Rastermikroskop, das als konfokales Rastermikroskop ausgebildet ist. Der von einer erfindungsgemäßen

Lichtquelle 1 mit den in dieser Figur nicht gezeigten mikrostrukturierten optischen Elementen ausgehende Beleuchtungslichtstrahl 29 wird von der Linse 61 auf die Beleuchtungslochblende 37 fokussiert und gelangt anschließend zu dem Hauptstrahlteiler 39, der den Beleuchtungslichtstrahl 29 zu der Strahlablenkeinrichtung 41, die einen kardanisch aufgehängten Scanspiegel 43 beinhaltet, lenkt. Die Strahlablenkeinrichtung 41 führt den Beleuchtungslichtstrahl 29 durch die Scanlinse 45 und die Tubuslinse 47 sowie durch das Objektiv 49 hindurch über bzw. durch die Probe 51. Das von der Probe ausgehende Detektionslicht 53, das in der Figur gestrichelt dargestellt ist, gelangt auf dem umgekehrten Lichtweg, nämlich durch das Objektiv 49, die Tubuslinse 47 und durch die Scanlinse 45 zurück zur Strahlablenkeinrichtung 41 und zum Hauptstrahlteiler 39, passiert diesen und gelangt nach Durchlaufen der Detektionslochblende 55 zum Detektor 57, der als Multibanddetektor 59 ausgeführt ist. Im Multibanddetektor 59 wird in verschiedenen spektralen Detektionskanälen das Detektionslicht detektiert und zur Leistung proportionale elektrische Signale erzeugt, die an ein nicht gezeigtes Verarbeitungssystem zur Darstellung eines Abbildes der Probe 51 weitergegeben werden.

Die Erfindung wurde in Bezug auf eine besondere Ausführungsform beschrieben. Es ist jedoch selbstverständlich, dass Änderungen und Abwandlungen durchgeführt werden können, ohne dabei den Schutzbereich der nachstehenden Ansprüche zu verlassen.

**Bezugszeichenliste:**

	1	Lichtquelle
	3	Primärlichtquelle
5	5	Titan-Saphir-Laser
	7	Licht
	9	Einkoppeloptik
	11	mikrostrukturiertes optisches Element
	12	konventionelle Lichtleitfaser
10	13	Photonic-Crystal-Faser
	14	Linsenanordnung
	15	weiteres mikrostrukturiertes optisches Element
	16	spektral verbreitertes Licht
	17	weitere Photonic-Crystal-Faser
15	19	drittes mikrostrukturiertes optisches Element
	20	Übergangsbereich
	21	viertes mikrostrukturiertes optisches Element
	23	dritte Photonic-Crystal-Faser
	25	vierte Photonic-Crystal-Faser
20	27	Optik
	28	spektral geformter Lichtstrahl
	29	Beleuchtungslichtstrahl
	30	Anregungslichtstrahl
	31	Mittel zum Selektieren von Lichtanteilen
25	32	Stimulationslichtstrahl
	33	AOTF

	34	Phasenverzögerungsplatte
	35	Gehäuse
	36	Strahlteiler
	37	Beleuchtungslochblende
5	38	Strahlvereiniger
	39	Hauptstrahlteiler
	41	Strahlableitvorrichtung
	43	Scanspiegel
	45	Scanlinse
10	47	Tubuslinse
	49	Objektiv
	51	Probe
	53	Detektionslicht
	55	Detektionslochblende
15	57	Detektor
	59	Multibanddetektor
	61	Linse

**Patentansprüche**

1. Lichtquelle mit einem mikrostrukturierten optischen Element, das das Licht einer Primärlichtquelle empfängt und spektral verbreitert, dadurch gekennzeichnet, dass das spektral verbreiterte Licht  
5 zumindest ein weiteres mikrostrukturiertes optisches Element durchläuft.
2. Lichtquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das mikrostrukturierte optische Element und/oder das weitere mikrostrukturierte optische Element Photonic-Band-Gap-Material beinhaltet.
3. Lichtquelle nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch  
10 gekennzeichnet, dass das mikrostrukturierte optische Element und/oder das weitere mikrostrukturierte optische Element als Lichtleitfaser ausgestaltet sind.
4. Lichtquelle nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das mikrostrukturierte optische Element und/oder das weitere mikrostrukturierte optische Element eine Verjüngung (tapered Fiber) aufweist.
- 15 5. Lichtquelle nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das mikrostrukturierte optische Element und das weitere mikrostrukturierte optische Element kontinuierlich ineinander übergehen.
6. Lichtquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das mikrostrukturierte optische Element und/oder das  
20 weitere mikrostrukturierte optische Element eine Photonic-Crystal-Faser (mikrostrukturierte Faser, Holey Fiber) ist.
7. Lichtquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das mikrostrukturierte optische Element und das weitere mikrostrukturierte optische Element miteinander verspleißt sind.



8. Lichtquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Licht, welches aus dem mikrostrukturiertem optischen Element austritt mit einer Linsenanordnung in das weitere mikrostrukturierte optische Element einkoppelbar ist.
- 5 9. Lichtquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Primärlichtquelle einen Puls laser umfasst.
- 10 10. Lichtquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Licht der Primärlichtquelle das mikrostrukturierte optische Element und/oder das weitere mikrostrukturierte optische Element wiederholt durchläuft.
11. Lichtquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zum Selektieren von Lichtanteilen zumindest einer Wellenlänge und/oder zumindest eines Wellenlängenbereichs vorgesehen sind.
- 15 12. Lichtquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 11, gekennzeichnet durch die Verwendung in einem Flußzytometer oder einem Endoskop oder einem Chromatographen oder einer Lithographievorrichtung.
13. Mikroskop mit einer Lichtquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 11.
- 20 14. Rastermikroskop mit einer Lichtquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 11.
- 25 15. Rastermikroskop nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Rastermikroskop ein konfokales Rastermikroskop und/oder ein doppelkonfokales Rastermikroskop und/oder ein STED-Rastermikroskop und/oder ein STED-4Pi-Rastermikroskop und/oder ein CARS-Rastermikroskop ist.
16. Verfahren zur Erzeugung von Beleuchtungslicht gekennzeichnet durch folgende Schritte:
- Erzeugen von spektral verbreitertem Licht mit einer Lichtquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
- 30

- Auswählen zumindest einer Beleuchtungslichtwellenlänge und/oder zumindest eines Beleuchtungslichtwellenlängenbereichs und
- Abspalten des Beleuchtungslichtes der zumindest einen Beleuchtungslichtwellenlänge und/oder des zumindest einen Beleuchtungslichtwellenlängenbereichs aus dem spektral verbreiterten Licht.

5

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Beleuchtungslicht eine Probe optisch anregt.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 oder 17, gekennzeichnet durch den weiteren Schritt:

10

- Auswählen zumindest einer weiteren Beleuchtungslichtwellenlänge und/oder zumindest eines weiteren Beleuchtungslichtwellenlängenbereichs und
- Abspalten von weiterem Beleuchtungslicht der zumindest einen weiteren Beleuchtungslichtwellenlänge und/oder des zumindest einen weiteren Beleuchtungslichtwellenlängenbereichs aus dem spektral verbreiterten Licht.

15

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das weitere Beleuchtungslicht eine stimulierte Emission bewirkt.

20. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 16 bis 19 in der STED-Mikroskopie.

20

21. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 16 bis 19 zur Durchführung von Pump-Probe-Experimenten.

25

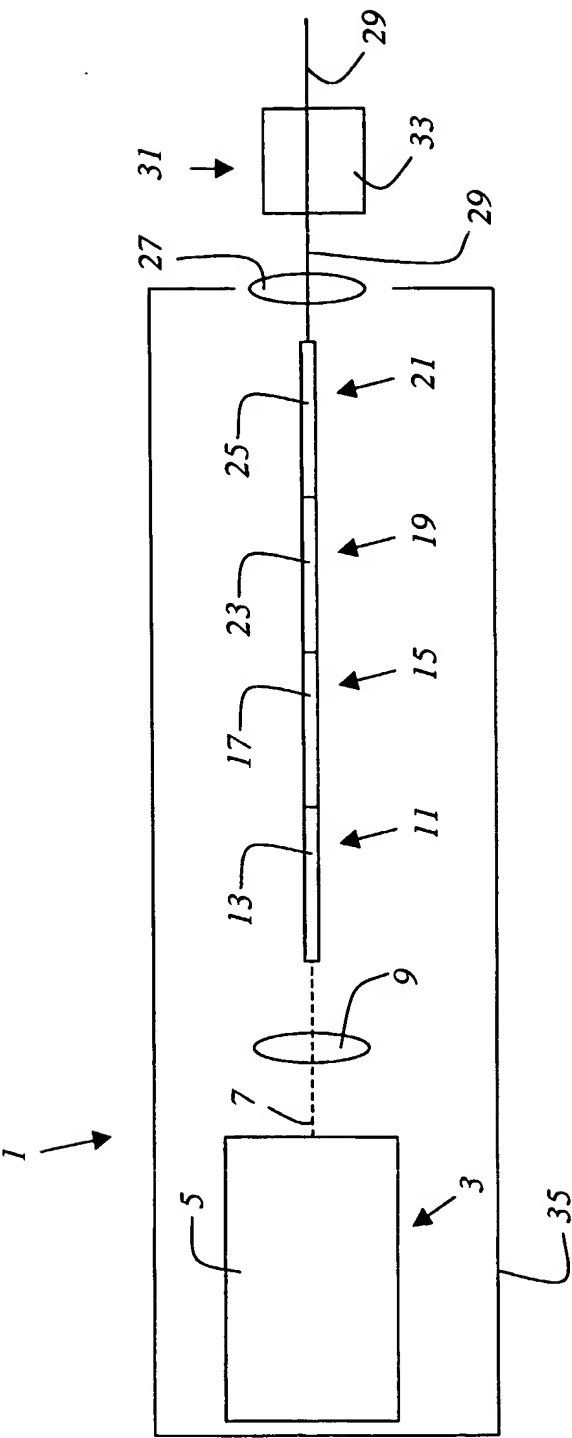


Fig. 1

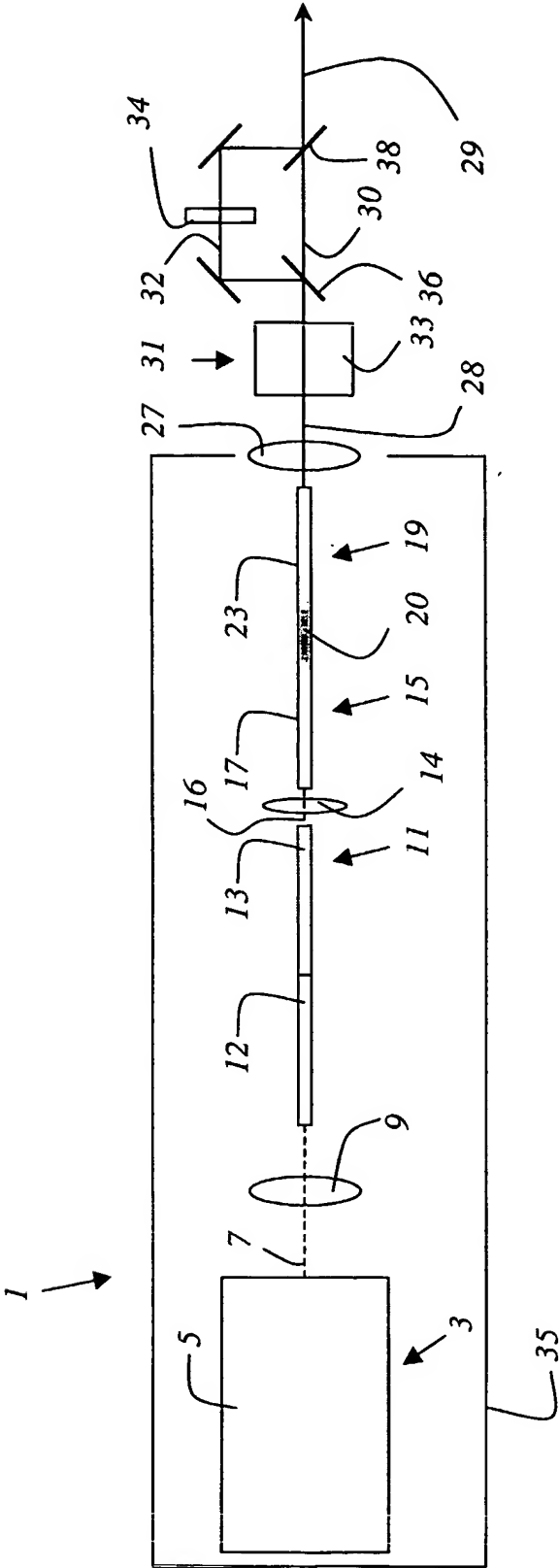


Fig. 2

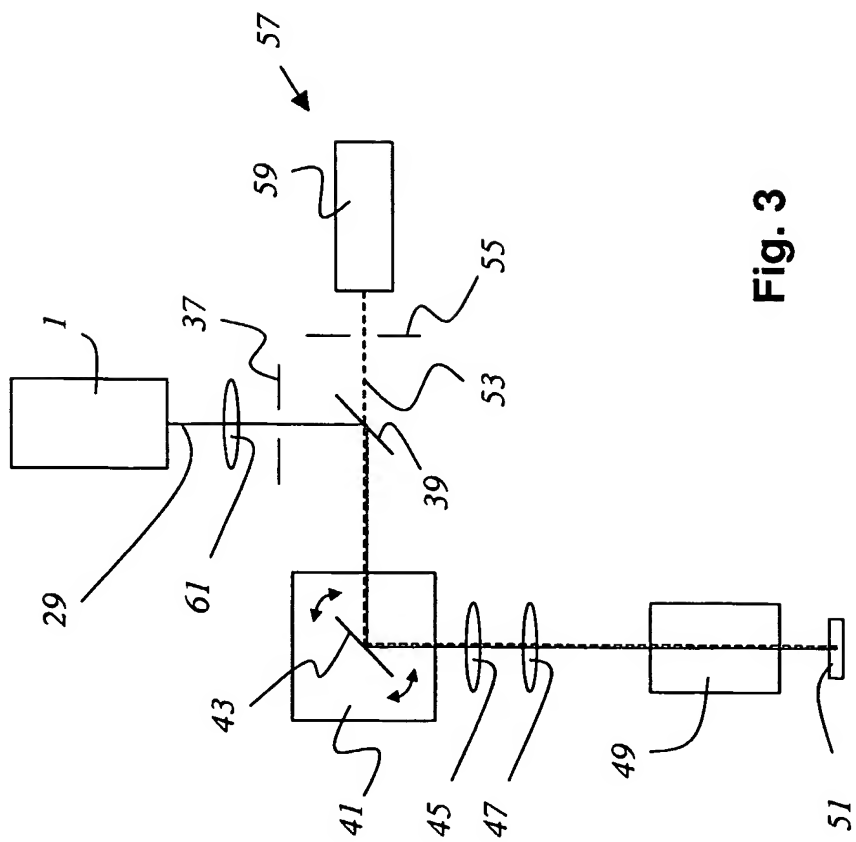


Fig. 3

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/052053

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G02B6/16 G02F1/365 G02B21/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G02B G02F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 922 992 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 16 June 1999 (1999-06-16)	1-3, 5-9
Y	paragraphs '0009! - '0013!; figure 1	4, 12-15
X	US 5 960 146 A (MORI KUNIHICO ET AL) 28 September 1999 (1999-09-28)	1, 3-5, 7, 9, 11, 16, 18
Y	column 16, line 22 - column 18, line 15 column 22, line 12 - column 23, line 8; figures 23-26, 40, 42	17, 19-21
X	EP 0 886 174 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 23 December 1998 (1998-12-23) page 10, lines 1-9 page 14, lines 8-29; figures 16, 39, 40	1, 9, 11, 16
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 November 2004

Date of mailing of the international search report

03/12/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel: (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Wolf, S

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/052053

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	BIRKS T A ET AL: "SUPERCONTINUUM GENERATION IN TAPERED FIBERS" OPTICS LETTERS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, US, vol. 25, no. 19, 1 October 2000 (2000-10-01), pages 1415-1417, XP000981159 ISSN: 0146-9592 cited in the application the whole document	4
A	----- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2002, no. 09, 4 September 2002 (2002-09-04) & JP 2002 148468 A (MITSUBISHI CABLE IND LTD; NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>), 22 May 2002 (2002-05-22) abstract	7
A	----- US 2003/081915 A1 (GALLAGHER MICHAEL T ET AL) 1 May 2003 (2003-05-01) cited in the application the whole document	7
Y	----- DE 101 15 488 A (LEICA MICROSYS HEIDELBERG GMBH) 20 December 2001 (2001-12-20) cited in the application the whole document	12-15,17
Y	----- EP 1 184 701 A (LEICA MICROSYS HEIDELBERG GMBH) 6 March 2002 (2002-03-06) the whole document	13-15,17
Y	----- DE 44 16 558 A (HELL STEFAN) 3 August 1995 (1995-08-03) cited in the application the whole document	19-21
A	----- RANKA J K ET AL: "VISIBLE CONTINUUM GENERATION IN AIR-SILICA MICROSTRUCTURE OPTICAL FIBERS WITH ANOMALOUS DISPERSION AT 800 NM" OPTICS LETTERS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, US, vol. 25, no. 1, 1 January 2000 (2000-01-01), pages 25-27, XP000928530 ISSN: 0146-9592 cited in the application the whole document	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/052053

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0922992	A	16-06-1999	US 6108474 A DE 69825401 D1 EP 0922992 A2 JP 3404305 B2 JP 11242249 A	22-08-2000 09-09-2004 16-06-1999 06-05-2003 07-09-1999
US 5960146	A	28-09-1999	JP 3558499 B2 JP 10090737 A JP 2004163982 A	25-08-2004 10-04-1998 10-06-2004
EP 0886174	A	23-12-1998	JP 3471213 B2 JP 11282030 A JP 3471214 B2 JP 11282031 A EP 0886174 A2 JP 3474773 B2 JP 11174503 A US 5999548 A	02-12-2003 15-10-1999 02-12-2003 15-10-1999 23-12-1998 08-12-2003 02-07-1999 07-12-1999
JP 2002148468	A	22-05-2002	NONE	
US 2003081915	A1	01-05-2003	EP 1440338 A1 WO 03038496 A1	28-07-2004 08-05-2003
DE 10115488	A	20-12-2001	DE 10115488 A1 EP 1164406 A2 JP 2002098896 A US 2002028044 A1 US 2002006264 A1 DE 10115486 A1 DE 10115487 A1 DE 10115509 A1 DE 10115577 A1 DE 10115589 A1 DE 10115590 A1 EP 1164400 A1 EP 1164401 A1 EP 1164402 A1 EP 1186929 A2 EP 1164403 A1 EP 1184701 A1 JP 2002055283 A JP 2002055284 A JP 2002062262 A JP 2002048979 A JP 2002082286 A JP 2002048980 A US 2002018290 A1 US 2002009260 A1 US 2002050564 A1 US 2002043622 A1 US 2002018293 A1	20-12-2001 19-12-2001 05-04-2002 07-03-2002 17-01-2002 20-12-2001 20-12-2001 20-12-2001 20-12-2001 20-12-2001 20-12-2001 19-12-2001 19-12-2001 19-12-2001 13-03-2002 19-12-2001 06-03-2002 20-02-2002 20-02-2002 28-02-2002 15-02-2002 22-03-2002 15-02-2002 14-02-2002 24-01-2002 02-05-2002 18-04-2002 14-02-2002
EP 1184701	A	06-03-2002	DE 10115589 A1 EP 1184701 A1 JP 2002082286 A US 2002009260 A1 US 2002028044 A1	20-12-2001 06-03-2002 22-03-2002 24-01-2002 07-03-2002



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No  
PCT/EP2004/052053

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1184701	A	DE 10115486 A1	20-12-2001
		DE 10115487 A1	20-12-2001
		DE 10115488 A1	20-12-2001
		DE 10115509 A1	20-12-2001
		DE 10115577 A1	20-12-2001
		DE 10115590 A1	20-12-2001
		EP 1164400 A1	19-12-2001
		EP 1164401 A1	19-12-2001
		EP 1164402 A1	19-12-2001
		EP 1186929 A2	13-03-2002
		EP 1164406 A2	19-12-2001
		EP 1164403 A1	19-12-2001
		JP 2002055283 A	20-02-2002
		JP 2002055284 A	20-02-2002
		JP 2002062262 A	28-02-2002
		JP 2002098896 A	05-04-2002
		JP 2002048979 A	15-02-2002
		JP 2002048980 A	15-02-2002
		US 2002018290 A1	14-02-2002
		US 2002050564 A1	02-05-2002
		US 2002043622 A1	18-04-2002
		US 2002006264 A1	17-01-2002
		US 2002018293 A1	14-02-2002
DE 4416558	A	03-08-1995	
		DE 4416558 A1	03-08-1995
		AT 204086 T	15-08-2001
		WO 9521393 A2	10-08-1995
		EP 0801759 A2	22-10-1997
		US 5731588 A	24-03-1998

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/052053

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G02B6/16 G02F1/365 G02B21/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G02B G02F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 922 992 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 16. Juni 1999 (1999-06-16)	1-3,5-9
Y	Absätze '0009! - '0013!; Abbildung 1 -----	4,12-15
X	US 5 960 146 A (MORI KUNIHICO ET AL) 28. September 1999 (1999-09-28)	1,3-5,7, 9,11,16, 18
Y	Spalte 16, Zeile 22 - Spalte 18, Zeile 15 Spalte 22, Zeile 12 - Spalte 23, Zeile 8; Abbildungen 23-26,40,42 -----	17,19-21
X	EP 0 886 174 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 23. Dezember 1998 (1998-12-23) Seite 10, Zeilen 1-9 Seite 14, Zeilen 8-29; Abbildungen 16,39,40 -----	1,9,11, 16
	-/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

12. November 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

03/12/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Beauftragter

Wolf, S

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2004/052053

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	BIRKS T A ET AL: "SUPERCONTINUUM GENERATION IN TAPERED FIBERS" OPTICS LETTERS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, US, Bd. 25, Nr. 19, 1. Oktober 2000 (2000-10-01), Seiten 1415-1417, XP000981159 ISSN: 0146-9592 in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	4
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 2002, Nr. 09, 4. September 2002 (2002-09-04) & JP 2002 148468 A (MITSUBISHI CABLE IND LTD; NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>), 22. Mai 2002 (2002-05-22) Zusammenfassung	7
A	US 2003/081915 A1 (GALLAGHER MICHAEL T ET AL) 1. Mai 2003 (2003-05-01) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	7
Y	DE 101 15 488 A (LEICA MICROSYS HEIDELBERG GMBH) 20. Dezember 2001 (2001-12-20) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	12-15,17
Y	EP 1 184 701 A (LEICA MICROSYS HEIDELBERG GMBH) 6. März 2002 (2002-03-06) das ganze Dokument	13-15,17
Y	DE 44 16 558 A (HELL STEFAN) 3. August 1995 (1995-08-03) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	19-21
A	RANKA J K ET AL: "VISIBLE CONTINUUM GENERATION IN AIR-SILICA MICROSTRUCTURE OPTICAL FIBERS WITH ANOMALOUS DISPERSION AT 800 NM" OPTICS LETTERS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, US, Bd. 25, Nr. 1, 1. Januar 2000 (2000-01-01), Seiten 25-27, XP000928530 ISSN: 0146-9592 in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/052053

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0922992 A	16-06-1999	US 6108474 A DE 69825401 D1 EP 0922992 A2 JP 3404305 B2 JP 11242249 A	22-08-2000 09-09-2004 16-06-1999 06-05-2003 07-09-1999
US 5960146 A	28-09-1999	JP 3558499 B2 JP 10090737 A JP 2004163982 A	25-08-2004 10-04-1998 10-06-2004
EP 0886174 A	23-12-1998	JP 3471213 B2 JP 11282030 A JP 3471214 B2 JP 11282031 A EP 0886174 A2 JP 3474773 B2 JP 11174503 A US 5999548 A	02-12-2003 15-10-1999 02-12-2003 15-10-1999 23-12-1998 08-12-2003 02-07-1999 07-12-1999
JP 2002148468 A	22-05-2002	KEINE	
US 2003081915 A1	01-05-2003	EP 1440338 A1 WO 03038496 A1	28-07-2004 08-05-2003
DE 10115488 A	20-12-2001	DE 10115488 A1 EP 1164406 A2 JP 2002098896 A US 2002028044 A1 US 2002006264 A1 DE 10115486 A1 DE 10115487 A1 DE 10115509 A1 DE 10115577 A1 DE 10115589 A1 DE 10115590 A1 EP 1164400 A1 EP 1164401 A1 EP 1164402 A1 EP 1186929 A2 EP 1164403 A1 EP 1184701 A1 JP 2002055283 A JP 2002055284 A JP 2002062262 A JP 2002048979 A JP 2002082286 A JP 2002048980 A US 2002018290 A1 US 2002009260 A1 US 2002050564 A1 US 2002043622 A1 US 2002018293 A1	20-12-2001 19-12-2001 05-04-2002 07-03-2002 17-01-2002 20-12-2001 20-12-2001 20-12-2001 20-12-2001 20-12-2001 20-12-2001 19-12-2001 19-12-2001 19-12-2001 13-03-2002 19-12-2001 06-03-2002 20-02-2002 20-02-2002 28-02-2002 15-02-2002 22-03-2002 15-02-2002 14-02-2002 24-01-2002 02-05-2002 18-04-2002 14-02-2002
EP 1184701 A	06-03-2002	DE 10115589 A1 EP 1184701 A1 JP 2002082286 A US 2002009260 A1 US 2002028044 A1	20-12-2001 06-03-2002 22-03-2002 24-01-2002 07-03-2002

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Akkzeichen

PCT/EP2004/052053

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1184701 A		DE 10115486 A1	20-12-2001
		DE 10115487 A1	20-12-2001
		DE 10115488 A1	20-12-2001
		DE 10115509 A1	20-12-2001
		DE 10115577 A1	20-12-2001
		DE 10115590 A1	20-12-2001
		EP 1164400 A1	19-12-2001
		EP 1164401 A1	19-12-2001
		EP 1164402 A1	19-12-2001
		EP 1186929 A2	13-03-2002
		EP 1164406 A2	19-12-2001
		EP 1164403 A1	19-12-2001
		JP 2002055283 A	20-02-2002
		JP 2002055284 A	20-02-2002
		JP 2002062262 A	28-02-2002
		JP 2002098896 A	05-04-2002
		JP 2002048979 A	15-02-2002
		JP 2002048980 A	15-02-2002
		US 2002018290 A1	14-02-2002
		US 2002050564 A1	02-05-2002
		US 2002043622 A1	18-04-2002
		US 2002006264 A1	17-01-2002
		US 2002018293 A1	14-02-2002
DE 4416558 A	03-08-1995	DE 4416558 A1	03-08-1995
		AT 204086 T	15-08-2001
		WO 9521393 A2	10-08-1995
		EP 0801759 A2	22-10-1997
		US 5731588 A	24-03-1998